饲料中玉米淀粉添加水平对鲤生长性能、消化酶活性及血清生化指标的影响

孙金辉　范　泽*　程镇燕　高　妍　曲　木　乔秀亭　白东清**

（天津农学院水产学院，天津市水产生态及养殖重点实验室，天津 300384）

摘　要：本试验旨在研究饲料中玉米淀粉添加水平对鲤生长性能、消化酶活性及血清生化指标的影响。选用平均体重为（36.12±1.18） g的鲤900尾，随机分成5组，每组3个重复，每个重复60尾鱼，分别投喂蛋白质水平依次为32.0%、30.0%、28.1%、26.2%、24.2%，玉米淀粉添加水平依次为0（对照）、6.5%、13.0%、19.5%、26.0%的试验饲料，饲养时间为9周。结果表明：从生长性能看，对照组的增重率、特定生长率显著高于其他各组（*P*<0.05）；26.0%玉米淀粉组的饲料系数、蛋白质效率显著高于对照组（*P*<0.05）。饲料中玉米淀粉添加水平对鲤肝胰脏脂肪酶活性的影响不显著（*P*>0.05）；前肠中，13.0%玉米淀粉组脂肪酶活性显著高于6.5%玉米淀粉组（*P*<0.05）；中肠中，对照组、19.5%玉米淀粉组脂肪酶活性显著高于6.5%玉米淀粉组（*P*<0.05）；后肠中，26.0%玉米淀粉组脂肪酶活性显著高于19.5%玉米淀粉组（*P*<0.05）。肝胰脏中，26.0%玉米淀粉组淀粉酶活性显著高于其他各组（*P*<0.05）；前肠、中肠和后肠中，6.5%玉米淀粉组淀粉酶活性显著高于其他各组（*P*<0.05）。肝胰脏、前肠、中肠、后肠中蛋白酶活性均随饲料中玉米淀粉添加水平的升高而显著降低（*P*<0.05)。血清葡萄糖含量随饲料中玉米淀粉添加水平的升高而呈上升趋势，且各组间差异显著（*P*<0.05）。血清胆固醇含量以26.0%玉米淀粉组最高，显著高于其他各组（*P*<0.05），以6.5%玉米淀粉组最低，显著低于其他各组（*P*<0.05）。血清甘油三酯含量以26.0%玉米淀粉组最高，显著高于其他各组（*P*<0.05），以6.5%、13.0%玉米淀粉组较低，显著低于其他各组（*P*<0.05）。综合分析，在本试验条件下，适当降低饲料蛋白质水平可提高鲤的消化能力，饲料中玉米淀粉添加水平在0~13.0%、蛋白质水平在28.1%~32.0%时较适合鲤的生长。

关键词：鲤；生长性能；消化酶活性；血清生化指标

中文分类号：S963　　文献标识码：A　　文章编号：

鲤隶属于鲤形目（Cypriniformes）鲤科（Cyprinidae）鲤亚科（Cyprinidae）鲤属（*Cyprinus*），又名鲤拐子、鲤子、野鲤等，是我国养殖历史最长的鱼类，也是我国主要的水产养殖对象之

收稿日期：2015-10-26

基金项目：天津市科技支撑计划项目（13ZCZDNC00900）；天津市应用基础与前沿技术研究计划（14JCQNJC15100）；天津市高校中青年骨干创新项目；市级教学团队

作者简介：孙金辉（1979-），男，山东威海人，副教授，研究方向为水产动物营养与生态。E-mail: jhsun1008@163.com

*同等贡献作者

**通信作者：白东清，教授，硕士生导师，E-mail： baidongqing@tjau.edu.cn

一。鲤为典型的底层鱼类，一般喜在水下层活动，行动虽然缓慢，但反应敏锐，游泳有力，较难捕捉[1]。目前，有关鲤饲料的研究主要集中在常规营养成分分析方面，而对于糖类营养的研究相对较少。

糖类作为三大能源物质中最为经济的一种，不仅是合成非必需氨基酸以及体脂的重要原料，还可以给鱼类的生命活动提供能量，一定量的饲料糖可起到节约蛋白质的作用[2]，但鱼类具有典型的糖尿病的生理特征[3]，对饲料糖的耐受能力有限，饲料糖水平超过一定限度会引发鱼类出现抗病力低、生长缓慢、死亡率高等症状[4]。鉴于此，本试验拟探讨饲料中玉米淀粉水平对鲤生长性能、消化酶活性及血液指标的影响，旨在通过提高饲料中糖水平来节约蛋白质，并为鲤配合饲料中糖水平的设定提供理论基础和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与饲养管理

试验用鲤鱼为天津市换新水产良种场同一批繁殖的鱼种，饲养试验在天津市宁河县天祥水产有限公司进行。在混养池塘上以泡沫浮板搭建 15 个 1 m×2 m×1 m 的沉性暂养网箱。驯化适应环境 7 d 以后，选取体质健壮、规格一致、无伤无病，初始体重为(36.12±1.18) g 的试验鱼，随机分为 5 组，每组 3 个重复，每个重复 60 尾鱼。每组试验鱼随机饲喂 1 种试验饲料。饲养过程中水温为(29.0±1.1) ℃，pH 为 7.8±0.2，每日投喂 2 次(09:00 和 15:30)，养殖时间为 9 周。

1.2 试验饲料

以鱼粉、豆粕、花生粕和棉籽粕作为蛋白质源，玉米淀粉作为糖源，配制 5 种不同蛋白质水平的试验饲料，依次记为饲料 1、2、3、4、5，试验饲料蛋白质水平依次为 32.0%、30.0%、28.1%、26.2%、24.2%，玉米淀粉添加水平依次为 0（对照）、6.5%、13.0%、19.5%、26.0%。各饲料原料均通过粉碎机粉碎全部过 40 目分析筛，混合均匀后，使用天祥水产有限公司提供的江苏牧羊集团牧羊 MUZLM V4 型饲料制粒机制成直径为 2.00 mm 的沉性颗粒饲料，常温下晾干，用塑料袋密封包装，置于-20 ℃冰箱中备用。试验饲料的组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　%

项目 Items	饲料 Diets				
	1	2	3	4	5
原料 Ingredients					
鱼粉 Fish meal	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
豆粕 Soybean meal	25.0	22.0	19.0	16.0	13.0
花生粕 Peanut meal	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0

棉籽粕 Cottonseed meal	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
菜籽粕 Rapeseed meal	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
纤维素 Cellulose	12.0	9.3	6.6	4.0	1.3
干全酒糟及其可溶物 DDGS	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
预混料 Premix	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
玉米淀粉 Corn starch	0.0	6.5	13.0	19.5	26.0
麸皮 Wheat bran	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
营养水平 Nutrient levels					
粗蛋白质 CP	32.0	30.0	28.1	26.2	24.2
粗脂肪 EE	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
总能 GE/(MJ/kg)	9.9	10.6	11.3	11.9	12.6
可消化糖 Digestible carbohydrate	4.85	8.23	14.20	22.33	32.54

1.3 样品采集

试验结束后，从每个重复随机取 18 尾鱼，测定体重和体长后，用 MS-222 麻醉，采用尾部静脉抽血方法采血，每 3 尾鱼的血液混合为 1 个样本，注入 2 mL 的离心管中，4 ℃、4 500 r/min 离心 15 min，取血清备用。将取血后的鱼立即在冰上解剖，取肝胰脏、前肠、中肠及后肠。血清和组织样品在液氮中速冻后，转入-80 ℃低温冰箱中保存，待测。

1.4 生长指标测定

生长试验开始和结束时，测定试验鱼体重和体长，计算各生长指标，计算公式如下：

存活率（SR,%）$=100\times N_t/N_0$；

增重率(WGR，%)$=100\times(W_t-W_0)/W_0$；

特定生长率(SGR，%/d)$=100\times(\ln W_t-\ln W_0)/t$；

饲料系数(FCR)$=F/(W_t-W_0)$；

蛋白质效率(PER，%)$=100\times(W_t-W_0)/(F\times P)$；

肝体指数(HSI，%)$=100\times W_g/W_t$。

式中：N_0 为试验初始鱼尾数；N_t 为试验终末鱼尾数；W_0 为试验初始鱼体重(g)；W_t 为试验终末鱼体重(g)；F 为饲料摄入量干重(g)；P 为饲料中粗蛋白质含量(%)；W_g 为肝胰脏重(g)；t 为饲养天数(d)。

1.5 生化指标测定

肝胰脏、前肠、中肠及后肠解冻后用预冷的生理盐水冲洗干净并用滤纸吸干后称重。在预冷的生理盐水中漂洗，除去血液，滤纸试干，用移液管加入 9 倍于组织块质量的预冷匀浆介质(0.85%的氯化钠注射液)，在匀浆器中进行匀浆，4 ℃、4 500 r/min 离心 15 min，取上清液备用。

组织中蛋白质含量，淀粉酶和脂肪酶活性测定试剂盒以及血清中葡萄糖、甘油三酯和胆固醇含量测定试剂盒均由南京建成生物工程研究所提供。组织中蛋白酶活性测定采用福林酚法[5]。

1.6 数据处理与统计分析

采用 Excel 软件对数据进行统计学分析，再用 SPSS 18.0 软件对数据作单因素方差分析（one-way ANOVA），组间若存在显著差异，再进行 Duncan 氏法多重比较，差异显著水平为 $P<0.05$。试验结果用“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤生长性能的影响

由表 2 可知，增重率和特定生长率随饲料中玉米淀粉添加水平的升高基本呈下降趋势，而存活率、饲料系数、蛋白质效率、肝体指数却随玉米淀粉添加水平的升高基本呈上升趋势。1 组的增重率和特定生长率显著高于其他各组（$P<0.05$）。存活率均在 90%以上，但 1、2 组存活率显著低于3、4、5 组（$P<0.05$）。5 组的饲料系数最高，相较于 1 组有差异显著（$P<0.05$）。蛋白质效率以 5 组最高，显著高于 1、2 和 3 组（$P<0.05$）。对于肝体指数，4 组显著高于 1 组差异显著（$P<0.05$）。

表 2 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary corn starch supplemental level on growth performance of common carp （n=3）

组别 Groups	存活率 SR/%	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/(%/d)	饲料系数 FCR	蛋白质效率 PER/%	肝体指数 HSI/%
1	93.89 ± 0.96^{b}	303.92 ± 16.66^{a}	2.22 ± 0.07^{a}	1.35 ± 0.05^{b}	2.18 ± 0.07^{c}	0.41 ± 0.10^{b}
2	95.56 ± 0.96^{b}	269.48 ± 12.34^{b}	2.07 ± 0.05^{b}	1.47 ± 0.06^{ab}	2.24 ± 0.09^{c}	0.48 ± 0.02^{ab}
3	99.44 ± 0.96^{a}	272.11 ± 12.68^{b}	2.09 ± 0.06^{b}	1.40 ± 0.07^{ab}	2.49 ± 0.13^{b}	0.50 ± 0.03^{ab}
4	99.44 ± 0.96^{a}	257.30 ± 9.86^{b}	2.03 ± 0.04^{b}	1.47 ± 0.06^{ab}	2.58 ± 0.10^{ab}	0.55 ± 0.02^{a}
5	98.33 ± 1.67^{a}	257.30 ± 9.86^{b}	2.02 ± 0.04^{b}	1.50 ± 0.08^{a}	2.70 ± 0.15^{a}	0.51 ± 0.02^{ab}

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$)。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤消化酶活性的影响

2.2.1 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤脂肪酶活性的影响

由表 3 可知，饲料中玉米淀粉添加水平对鲤肝胰脏脂肪酶活性的影响不显著（$P>0.05$）；前肠中，3 组脂肪酶活性显著高于 2 组（$P<0.05$）；中肠中，1、5 组脂肪酶活性显著高于 2 组（$P<0.05$）；后肠中，5 组脂肪酶活性显著高于 4 组（$P<0.05$）。

表 3 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤脂肪酶活性的影响

Table 3 Effects of dietary corn starch supplemental level on lipase activity of common carp U/g prot

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas	前肠 Foregut	中肠 Midgut	后肠 Hindgut
1	27.45±4.51	55.61±21.30^{ab}	80.96±29.55^{a}	47.90±8.86^{ab}
2	36.65±15.26	22.82±27.45^{b}	34.00±8.44^{b}	39.19±25.44^{ab}
3	33.54±13.63	60.07±13.23^{a}	59.41±12.63^{ab}	34.17±2.83^{ab}
4	34.23±10.98	27.27±5.02^{ab}	66.38±17.53^{ab}	25.75±1.44^{b}
5	47.69±20.49	56.00±18.06^{ab}	84.97±18.41^{a}	53.25±13.54^{a}

2.2.2 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤淀粉酶活性的影响

由表 4 可知，肝胰脏中，5 组淀粉酶活性显著高于其他各组（P<0.05）；前肠中，2 组淀粉酶活性显著高于其他各组（P<0.05），同时 4、5 组显著高于 1、3 组（P<0.05）；中肠中，2 组淀粉酶活性显著高于其他组（P<0.05），同时 3 组显著高于 1 组（P<0.05）；后肠中，除 3 和 5 组间无显著差异（P>0.05）外，其他各组间淀粉酶活性差异显著（P<0.05），其中 2 组淀粉酶活性显著高于其他各组（P<0.05）。

表 4 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤淀粉酶活性的影响

Table 4 Effects of dietary corn starch supplemental level on amylase activity of common carp U/g prot

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas	前肠 Foregut	中肠 Midgut	后肠 Hindgut
1	33.88±12.69^{b}	43.64±4.93^{c}	83.29±9.17^{c}	121.09±1.30^{b}
2	36.04±0.50^{b}	138.40±25.53^{a}	153.31±0.19^{a}	131.09±6.28^{a}
3	41.31±4.23^{b}	54.28±0.26^{c}	109.07±10.42^{b}	76.02±5.27^{d}
4	41.31±11.28^{b}	76.65±3.52^{b}	88.83±21.92^{bc}	91.30±5.74^{c}
5	64.80±1.77^{a}	89.87±3.04^{b}	95.06±11.05^{bc}	75.83±2.19^{d}

2.2.3 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤蛋白酶活性的影响

由表 5 可知，肝胰脏、前肠、中肠、后肠中蛋白酶活性均随饲料中玉米淀粉添加水平的升高而显著降低（P<0.05)，各组织中蛋白酶活性均以 1 组最高。

表 5 不同玉米淀粉水平对鲤蛋白酶活性的影响

Table 5 Effects of dietary corn starch supplemental level on protease activities of common carp U/g prot

组别 Groups	肝胰脏 Hepatopancreas	前肠 Foregut	中肠 Midgut	后肠 Hindgut
1	59.32±0.36^{a}	106.08±0.29^{a}	81.11±0.23^{a}	77.87±0.47^{a}
2	53.81±0.10^{b}	99.04±0.68^{b}	70.35±0.37^{b}	65.11±0.52^{b}
3	48.47±0.15^{c}	71.02±0.68^{c}	59.77±0.55^{c}	47.59±0.22^{c}
4	44.32±0.25^{d}	65.84±0.62^{d}	44.10±0.26^{d}	37.11±0.32^{d}
5	41.29±0.30^{e}	48.00±0.67^{e}	32.67±0.44^{e}	24.55±0.29^{e}

2.3 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤血清生化指标的影响

由表 6 可知，血清葡萄糖含量随饲料中玉米淀粉添加水平的升高而呈上升趋势，且各组间差异显著（P<0.05）。血清胆固醇含量以 5 组最高，显著高于其他各组（P<0.05），以 2 组最低，显著低于其他各组（P<0.05），同时 4 组显著高于 1 和 3 组（P<0.05）。血清甘油三酯含量以 5 组最高，显著高于其他各组（P<0.05），以 2、3 组较低，显著低于 1、4、5 组（P<0.05），同时 4 组显著高于 1 组（P<0.05）。

表 6　饲料中玉米淀粉添加水平对鲤血清生化指标的影响

Table 6　Effects of dietary corn starch supplemental level on serum biochemical indices of common carp mmol/L

组别 Groups	葡萄糖 GLU	甘油三酯 TG	胆固醇 CHO
1	6.12 ± 0.13^{e}	0.83 ± 0.01^{c}	2.91 ± 0.04^{c}
2	8.16 ± 0.14^{d}	0.75 ± 0.02^{d}	2.72 ± 0.20^{d}
3	9.10 ± 0.06^{c}	0.76 ± 0.02^{d}	2.96 ± 0.04^{c}
4	13.22 ± 0.59^{b}	0.90 ± 0.02^{b}	3.28 ± 0.04^{b}
5	14.61 ± 0.02^{a}	0.98 ± 0.02^{a}	3.54 ± 0.04^{a}

3 讨 论

3.1　饲料中玉米淀粉添加水平对饲料利用率及鲤生长的影响

大量研究表明鱼类对高分子糖类的消化率低于低分子糖类，但容易引起血清葡萄糖含量显著升高，出现糖尿病体征，并且摄食过量的糖类对鱼体生长及健康不利[6]。玉米中淀粉和脂肪含量较高，但玉米淀粉为低黏性淀粉，不利于水产颗粒饲料的黏接性，更不利于水产动物的消化和吸收[7]。本研究发现，随着饲料中玉米淀粉添加水平的升高，鲤的增重率、特定生长率随之降低，且 1 组显著高于其他各组；饲料系数则表现出上升的趋势，1 组最低，与 5 组差异显著。上述结果表明鲤并不能很好的吸收玉米淀粉来促进鱼体的生长，证明了上述观点。但值得注意的是，本研究发现随着饲料蛋白质水平的降低，玉米淀粉添加水平的升高，饲料系数及蛋白质效率呈升高趋势，这说明在有限的饲料利用率条件下，玉米淀粉添加水平的升高仍能够促进鱼体对饲料中蛋白质的吸收利用，这也从侧面印证了糖类对蛋白质的节约作用，但从前述结果可以看出被吸收的蛋白质用于鱼体生长的部分相对较少。

在长期和短期营养试验中，鱼类肝体指数均被视为评价鱼类的机体状态的重要指标。因为肝脏在糖类、脂类和蛋白质等营养物质的代谢中占据着非常重要的地位，同时也是重要的营养储存场所。吴宏玉[8]研究发现，随着饲料中玉米淀粉添加水平的升高，肝体指数也随之而增加。本试验结果与之相似，鲤的肝体指数随玉米淀粉添加水平的升高而升高，且以 4 组最高，这表明随着饲料中糖水平的升高，鱼体肝脏中脂肪蓄积逐渐增多，致使肝脏肿大。

鱼类和陆生动物相比，对糖的利用程度相对较低，且不同种类间也存在相对差异。长期

给虹鳟投喂高糖饲料会抑制其生长，产生高血糖症并导致高死亡率[9]。一般来说，海水鱼和冷水鱼饲料可消化糖水平不超过 20%是合适的，而温水鱼和淡水鱼则可利用较高水平的糖类，如斑点叉尾鮰饲料中的糖水平可达到 25%~30%[10]，遮目鱼可达到 35%~45%[11]。但在本研究中发现未添加玉米淀粉的对照组生长效果最好，而在添加玉米淀粉的各试验组中以 3 组（玉米淀粉添加水平为 13.0%）的生长效果为最好，优于其他添加玉米淀粉的试验组，同时 2 组也优于 4 和 5 组，这说明了玉米淀粉可以为鲤日常生命活动提供能量，使更多的蛋白质用于生长及体蛋白质的合成，从而达到节约蛋白质、减少成本的目的。但这些结果与前述研究结论并不吻合，可能是由于本研究并未涉及高于 26%的玉米淀粉添加水平。

3.2 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤消化酶活性的影响

消化酶活性是评价饲料消化效果的最重要内容之一，与糖类消化吸收关系最为密切的消化酶是淀粉酶。本试验结果发现，除后肠外，各添加玉米淀粉的试验组肝脏、前肠及中肠淀粉酶活性均高于对照组，说明玉米淀粉添加水平的升高会在一定程度上刺激肠道分泌淀粉酶，使淀粉酶活性增强，此结果与韩勃等[12]在饲料淀粉水平对淡水黑鲷生长和消化酶活性的影响的研究中所得结果一致。Krogadal 等[13]研究发现，一些草食性和杂食性鱼类淀粉酶活性与饲料中糖水平呈正相关。但在本试验中各组织中淀粉酶活性均以 2 组为最高，这表明过量添加玉米淀粉会抑制体内淀粉酶的活性，与上述结论存在差异，这可能与淀粉来源及加工程度、不同组织部位、生存环境、鱼体不同发育阶段等诸多因素相关，因此关于饲料中淀粉对鱼类体内消化酶活性的调节机制还需进一步研究。

本研究表明，饲料中玉米淀粉添加水平对鲤组织中蛋白酶活性存在显著影响，1组各组织中蛋白酶活性最高，可能是由于当饲料中蛋白质水平适宜时，会使鲤处于最佳的生长状态，使鱼体内蛋白酶的活性保持在较高的水平。王吉桥等[14]认为，饲料蛋白质水平对花鱼骨肠道中脂肪酶的活性并无显著影响，与本研究结果一致。随着饲料中玉米淀粉添加水平在一定程度上的升高，鲤对糖的摄入量增加，其中肝胰脏内淀粉酶和脂肪酶活性呈上升趋势，蛋白酶活性则处于下降趋势。强俊等[15]研究认为，随着奥尼罗非鱼对糖摄入量的增加，淀粉酶和胃蛋白酶活性显著上升。这与本研究结果存在一定的差异，可能是因为糖水平不同或是鱼种不同所致。

批注 [W用1]: 排版注意：拼字，鱼字旁，加一个骨

3.3 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤血清生化指标的影响

血液指标是衡量鱼体是否处于健康状态的重要指标，并且血液指标是极易受到饲料营养水平影响的一项生理指标，血清中甘油三酯和胆固醇含量对鱼类的营养状态有着密切的联系。对人类和畜禽动物血液指标的研究已取得了一定的成果，并在实践中被广泛应用，因此用血液指标作为鱼类健康状况的常规检验方法是研究发展的趋势[16]。本试验结果显示，血

清葡萄糖含量在各组间差异显著，从高到低依次为 5、4、3、2、1 组。此结果表明随着饲料中玉米淀粉添加水平的升高，血清葡萄糖含量也随着上升。血清葡萄糖含量的稳定对动物正常的生命活动有着十分重要的作用[17]。鱼类血糖含量正常范围为 2.78～12.72 mmol/L，在此区间内升高表示鱼体消化吸收作用加强[18]，1、2、3 组的血清葡萄糖含量在此范围内升高，表明饲料中玉米淀粉添加水平在 0、6.5%、13.0%时消化吸收作用较强。本试验结果表明，血清甘油三酯与胆固醇含量随玉米淀粉添加水平的升高基本呈现出上升趋势，血清中甘油三酯和胆固醇含量往往随饲料脂肪水平的升高而上升，但本研究并未设置脂肪梯度，这可能说明玉米淀粉水平对鲤血清甘油三酯和胆固醇含量有一定的影响，但其机理需进一步研究。

4 结　论

综合分析得出，适当降低饲料蛋白质水平可提高鲤的消化能力，在本试验条件下，饲料中玉米淀粉添加水平在 0~13%、蛋白质水平在 28.1%~32.0%时较适合鲤的生长。

参考文献：

[1]陈诗平,朱永和,郭书普,等.水产适用技术百科全书[M].北京:北京科学技术出版社,1994:220–228.

[2]李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,1996:26–36.

[3]WILSON R P,POE W E.Apparent inability of channel catfish to utilize dietary mono-and disaccharides as energy sources[J].The Journal of Nutrition,1987,117(2):280–285.

[4]DIXON D G,HILTON J W.Influence of available dietary carbohydrate content on tolerance of waterborne copper by rainbow trout,*Salmo gairdneri* Richardson[J].Journal of Fish Biology,1981,19(5):509–518.

[5]桂远明.水产动物机能学实验[M].北京:中国农业出版社,2004:113–116,119–124.

[6]毛永庆,林鼎,刘永坚.饲料与塘养鱼类的生长、生物性状和成份关系[C]//第三届年会论文集.太原:中国粮油学会、饲料专业学会,1990:117–123.

[7]WANG W X,KE C H.Dominance of dietary intake of cadmium and zinc by two marine predatory gastropods[J].Aquatic Toxicology,2002,56(3):153–165.

[8]吴宏玉.饲料糖水平对吉富罗非鱼生长和生理机能的影响[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2012.

[9]PHILIPS A M,Jr,TUNISON A V,BROCKWAY D R.Utilization of carbohydrates by trout[J].Fish Resmrs Bullnano,1948,11:8–14.

[10]BOONYARATPALIN M.Asian seabass Lates calcarifer[C]//Handbook of nutrient

requirements of finfish.Boca Raton.FL:CRC Press,1991:5–11.

[11]SATOH S.Common carp,*Cyprinus carpio*[C]//Handbook of nutrient requirement of finfish.Boca Raton.FL:CRC Press,1991:55–67.

[12]韩勃,宋理平.饲料淀粉水平对淡水黑鲷生长和消化酶活性的影响[J].上海海洋大学学报,2010,19(2):207–213.

[13]KROGADAL A,HEMRE G I,MOMMSEN T P.Carbohydrates in fish nutrition:digestion and absorption in post larval stages[J].Aquaculture Nutrition,2005,11(2):103–122.

[14]王吉桥,程爱香,闫有利,等.饲料中蛋白质含量对花鱼骨生长和消化的影响[J].大连水产学院学报,2008,23(2):116–122.

[15]强俊,王辉,彭俊,等.饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长的影响[J].饲料工业,2009,30(14):32–35.

[16]LANARI D,POLI B M,BALLESTRAZZI R,et al.The effects of dietary fat and NFE levels on growing European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.).Growth rate,body and fillet composition,carcass traits and nutrient retention efficiency[J].Aquaculture,1999,179:351–364.

[17]林浩然.鱼类生理学[M].广州:广东高等教育出版社,1999:89–106.

[18]明红,刘涌涛,杜习翔,等.木聚糖酶对尼罗罗非鱼生长及血脂血糖水平的影响[J].新乡医学院学报,2006,23(6):556–558.

批注 [W用2]: 拼字，鱼字旁，加一个骨

Effects of Dietary Corn Starch Supplemental Level on Growth Performance, Digestive Enzyme Activities and Serum Biochemical Indices of Common Carp

SUN Jinhui FAN Ze* CHENG Zhenyan GAO Yan QU Mu QIAO Xiuting BAI Dongqing**

(*Department of Fishery Science*, *Tianjin Agricultural University*, *Tianjin* 300384, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary corn starch supplemental level on growth performance, digestive enzyme activities and serum biochemical indices of common carp. Nine hundred common carp with the average body weight of (36.12±1.18) g were randomly divided into 5 groups with 3 replicates in each group and 60 fish in each replicate. The fish in those groups were fed with five experimental diets. In the five experimental diets, the protein level was in order of 32.0%, 30.0%, 28.1%, 26.2% and 24.2%, and the corn starch supplemental level was in order of 0 (control), 6.5%, 13.0%, 19.5% and 26.0%.

*Contributed equally

**Corresponding author, professor, E-mail: baidongqing@tjau.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

The experiment lasted for 9 weeks. The results showed as follows: seeing from growth performance, weight gain rate and specific growth rate in control group were significantly higher than those in other groups (P<0.05). Feed conversion ratio and protein efficient ratio in 26.0% corn starch group were significantly higher than control group (P<0.05). Dietary corn starch supplemental level had no significant effect on lipase activity in hepatopancreas (P>0.05). Foregut lipase activity in 13.0% corn starch group was significantly higher than that in 6.5% corn starch group (P<0.05). Midgut lipase activity in control group and 19.5% corn starch group was significantly higher than that in 6.5% corn starch group (P<0.05). Hindgut lipase activity in 26.0% corn starch group was significantly higher than that in 19.5% corn starch group (P<0.05). Hepatopancreas amylase activity in 26.0% corn starch group was significantly higher than that in other groups (P<0.05). In foregut, midgut and hindgut, the amylase activity in 6.5% corn starch group was significantly higher than that in other groups (P<0.05). The protease activity in hepatopancreas, foregut, midgut and hindgut was significantly decreased with the increase of dietary corn starch supplemental level (P<0.05). Serum glucose content showed an increasing trend with the increase of dietary corn starch supplemental level, and the difference was significant among all groups (P<0.05). Serum cholesterol content in 26.0% corn starch group was the highest, which was significantly higher than that in other groups (P<0.05); and it in 6.5% corn starch group was the lowest, which was significantly lower than that in other groups (P<0.05). Serum triglyceride content in 26.0% corn starch group was the highest, which was significantly higher than that in other groups (P<0.05); and it in 6.5% and 13.0% corn starch groups was lower, which was significantly lower than that in other groups (P<0.05). Comprehensive analysis of the measured indices, the digestive capacity of common carp can be raised by properly reducing protein level, and when dietary corn starch supplemental level at 0 to13.0% and protein level at 28.1% to 32.0% are suitable for growth of common carp in this experimental condition.

Key words: common carp; corn starch; growth performance; digestive enzyme activities; serum biochemical indices